한국대기환경학회 2000춘계학술대회 논문집
Proceedings of 30th Meeting of KOSAE (2000) pp. 158-159
Proceedings of Korean Society for Atmospheric Environment

DR4) 응집 및 응축과정에 의한 대기 에어로졸 크기 분포에서의 coarse mode의 영향

Effects of coarse mode aerosol on the size distribution by coagulation and condensation processes

[1)]정 창 훈, [2)]김 용 표, [1)]이 규 원
[1)]광주 과학기술원 환경공학과, [2)]한국과학기술연구원 지구환경연구센터

1. 서 론

대기중의 입자 (aerosol)는 크게 직경이 0.01-0.1 µm 대의 Aitken mode와 0.1-1 µm 부근의 accumulation mode, 그리고 1 µm 이상의 coarse mode로 분류할 수 있으며 대기 중에서 부유하여 서로 응집(coagulation) 과 응축(condensation)등의 과정을 겪으며 변화한다. 일반적으로 Aitken mode 의 입자들은 nucleation 등에 의해 발생된 입자이며, accumulation mode는 Aitken mode입자간의 응집, 인위적인 배출 등에 의하여 생성된 입자이다. Coarse mode는 주로 자연적으로 생성된 입자이며 주로 침적에 의해 제거된다. 우리 나라가 있는 동북아시아는 coarse mode에 해당하는 토양입자의 조성 및 농도가 전체 대기질에 많은 영향을 끼치고 있어 이들 coarse mode에 해당되는 입자의 변화에 따라 Aitken mode 및 accumulation mode에서의 입자 분포가 어떠한 영향을 받는지에 관한 연구가 필요하다. 현재 대기질 모델에서 에어로졸 역학을 모사하는 방법으로는 sectional method (Gelbard and Seinfeld, 1980)와 modal analysis가 널리 쓰인다. Binkowski et al. (1995)은 대기 에어로졸이 bimodal형태의 대수 정규분포 (lognormal distribution)를 가진다는 가정 하에 modal aerosol dynamics방법을 Models-3 에 적용한 바 있다. 실제 Models-3 에서 사용한 modal aerosol dynamics 방법의 경우 각 모드의 1) 기하학적 표준편차 (geometric standard deviation)가 일정하다는 가정 하에 aerosol의 size distribution을 구하므로, 정확한 값과 큰 차이를 갖는다고 알려져 있다 (Zhang et al.,1999). 또한 2) coarse mode가 coagulation이나 condensation에 의해 변화하지 않고 그대로 정지한 상태로 있다고 가정하여 Aitken mode 와 accumulation mode 가 coarse mode 에 의해 받는 영향을 고려하지 않았다. 본 연구에서는 Models-3에서 사용한 modal aerosol dynamics approach를 이용하여 앞의 두 가정을 제거한 경우, 응집 및 응축에 의해 three modal 분포를 갖는 에어로졸 크기분포의 변화를 알아보고 각 기작이 multimodal distribution을 갖는 에어로졸 분포의 경우에 어떠한 역할을 하는지에 관하여 알아보았다. 특히, 황사와 같이 coarse mode가 급격히 증가하는 경우 accumulation mode 및 Aitken mode 가 어떻게 변화하는지 정량적으로 알아보고 입자의 크기가 큰 경우 중요한 기작으로 작용하는 중력응집의 영향을 Brownian 응집의 영향과 비교하였다.

2. 연구 방법

Modal aerosol dynamic approach의 경우 입자가 대기 중에서 다음과 같은 lognormal distribution을 갖는다고 가정한다.

$$n(\ln d_p, t) = \frac{N}{\sqrt{2\pi}\ln\sigma}\exp\left[\frac{-\ln^2(d_p/d_g)}{2\ln^2\sigma}\right] \qquad (1)$$

여기서 d_p는 입자의 직경, d_g는 기하학적 평균 반경, σ는 기하학적 표준편차, N은 총 입자 개수 농도이다. k 번째 모멘트를 다음과 같이 정의 하면

$$M_k = \int_0^\infty d_p^k n(d_p)dd_p \qquad (2)$$

Aitken mode, accumulation mode, coarse mode에 적용되는 aerosol dynamics식은 다음과 같이 나타낼

수 있다.

$$\frac{\partial M_{ki}}{\partial t} = C_{ki} + B_{kii} + B_{kij} + B_{kil}$$

$$\frac{\partial M_{kj}}{\partial t} = C_{kj} + B_{kjj} + B_{kji} + B_{kjl}$$

$$\frac{\partial M_{kl}}{\partial t} = C_{kl} + B_{kll} + B_{kli} + B_{klj} \qquad (3)$$

여기서 C는 응축에 의한 에어로졸 입자의 성장항, B는 응집에 의한 항, 첨자 i,j,l은 각각 Aitken mode, accumulation mode, coarse mode를 나타낸다. 이 모멘트 항을 k=0, 3, 6 에 대하여 구하면 시간에 따른 에어로졸의 분포 변화를 계산할 수 있다.

3. 결과 및 고찰

연구 결과 응집에 의한 농도 변화의 경우 Aitken mode에서의 입경분포의 변화가 다른 mode에 비해 크게 나타나며 각 mode사이의 응집의 영향이 특히 큰 것으로 나타났다. 특히 coarse mode의 농도가 증가할 경우, accumulation mode에 미치는 coagulation의 영향이 매우 커져 Aitken mode와 accumulation mode의 농도가 빠르게 감소함을 알 수 있다. 이러한 결과는 황사가 왔을 때 accumulation mode의 입자 개수 농도가 감소하는 관측결과가 accumulation mode와 coarse mode 사이의 coagulation 때문임을 보여주고 있다. Condensation 에 의한 영향 역시 Aitken mode에서의 변화가 가장 커 다른 모드보다 빠른 속도로 기하학적 표준편차가 1로 가까워 지는 것을 알 수 있다. 또, 각 mode 사이의 중력응집이 고려될 경우 accumulation mode에서 coarse mode로의 응집에 의한 입자의 이동이 강화되므로 이에 의한 영향 역시 무시 할 수 없을 것으로 보인다. 따라서 기존의 Model-3 와 같은 대기질 모델의 설계 및 개발에서도 우리나라 환경에 맞게 coarse mode의 영향이나 중력응집의 영향등을 고려하여야 할 것이다.

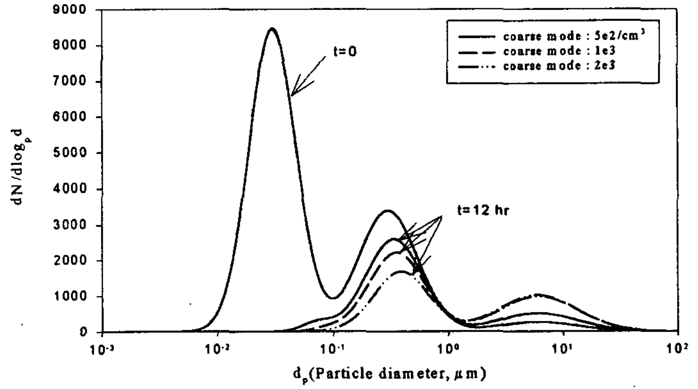

Fig1. The size distribution of aerosol during Brownian coagulation

참 고 문 헌

Binkowski, F. S. and Shankar, U. (1995) The regional particulate matter model. 1: Model description and preliminary results, Journal of Geophysical Research, 100, 26,191-26,209.

Gelbard, F. and Seinfeld, J. H. (1980) Simulation of multicomponent aerosol dynamics, Journal of Colloid Interface Science, 78, 485-501. .

Zhang, Y., Signeur, C., Seinfeld, J. H., Jacobson, M. Z. and Binkowski, F. S. (1999) Simulation of aerosol dynamics: A comparative review of algorithms used in air quality models, Aerosol Science and Techology, 31, 487-514.